口頭発表

2025年11月1日(土) 16:00 ~ 17:40 | E会場(共通教育棟 A23番教室)

[E4] 移動・交通３

司会：関口 達也

16:00 ~ 16:20

[E4-01] 駅からの距離を考慮した歩道構造と沿道施設が滞在数に及ぼす影響－大井町駅と吉祥寺駅周辺部を対象として－

*金森 貴洋[1]、中山 俊[2]、厳 網林[3] (1. 株式会社パスコ、2. 専修大学、3. 慶應義塾大学)

16:20 ~ 16:40

[E4-02] GPSデータを用いた滞在抽出による駅周辺回遊行動の定量化とその課題

*中山 俊[1,2]、金森 貴洋[3,2]、厳 網林[2] (1. 専修大学、2. 慶應義塾大学、3. 株式会社パスコ)

16:40 ~ 17:00

[E4-03] Incorporating Local Trip Behavior into Urban Center Detection: A Localized Spatial Autoregression Approach

*Vadim Boratinskii[1], Toshihiro Osaragi[1] (1. Institute of Science Tokyo)

17:00 ~ 17:20

[E4-04] 東京都市圏における鉄道通勤経路選択の統計力学的モデルGPSデータによる実証分析

*鄭 軼せん[1]、高安 秀樹[1]、高安 美佐子[1] (1. 東京科学大学)

17:20 ~ 17:40

[E4-05] 鉄道インフラ管理における課題解決を志向したモバイルGIS の開発と評価

*清水 智弘[1]、松本 亮介[2]、名加 達矢[2]、林 博文[3]、加藤 昌史[4] (1. ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社、2. 西日本旅客鉄道株式会社、3. 応用技術株式会社、4. 株式会社インフォマティクス)

©一般社団法人地理情報システム学会

駅からの距離を考慮した歩道構造と沿道施設が滞在数に及ぼす影響
－大井町駅と吉祥寺駅周辺部を対象として－

金森貴洋*・中山俊・厳網林*****

The Influence of Sidewalk Structure and Roadside Facilities on Pedestrian Stay, Considering Distance from the Station
- A Case Study of the Areas Surrounding Oimachi and Kichijoji Stations -

Takahiro Kanamori*, Shun Nakayama**, Wanglin Yan***

Abstract: To promote walkable urban environments, it is essential to create pedestrian spaces and environments that encourage stays—even in areas far from stations. This study examines how spatial characteristics such as sidewalk structure and roadside facilities influence pedestrian stays, considering distance from stations. Focusing on areas around Ōimachi and Kichijōji Stations, we applied a Generalized Linear Model (GLM) and score-based analysis using pedestrian flow data aggregated at the sidewalk-link level. Results revealed that, in addition to proximity, good walking environments—such as pedestrian-only sidewalks and highly rated POIs—significantly promote stays. In particular, Kichijōji showed stays even in distant areas where spatial conditions were good.

Keywords: ウォーカブル（walkable）, 滞在（pedestrian stay）, 歩道構造（sidewalk structure）, 沿道施設（Point of Interest）

１．はじめに

国は，人口減少や中心市街地の衰退といった問題から，まちなかのにぎわいと滞在の創出を目的として，ウォーカブルなまちづくりを推進している（国土交通省, 2024）．特に，2020 年の都市再生特別措置法と道路法の改正によって，歩行空間の構造的改善や滞在を誘発する空間要素の導入を後押しする制度が整備され，通行だけでなく滞在したくなる空間の創出を目指している．

首都圏のように公共交通が高度に整備され，駅を核に滞在を促す施設が集積する地域では，自動車依存の脱却よりも，滞在行動などの質を高める空間介入が重要とされる（伊藤ほか，2021）．駅を中心とした都市構造は滞在の核を形成する一方で，駅近傍に過度に集中し，駅遠方では歩行者の滞在が限定的となりやすい．こうした空間的偏在は，都市内のにぎわいの広がりを阻害し，地域全体の活力を低減させる要因となる可能性がある．商店街における滞留を誘発させる条件に着目した研究（有馬ほか，2008 ; 澤田ほか，2025）や，大規模開発が滞在に与える影響を明らかにした研究（天谷ほか, 2024）などはみられるが，駅からの距離を考慮しつつ，駅から離れた場所においても滞在を促進できる歩行空間や滞在を誘発する空間要素の特性を明らかにした研究はみられない．

そこで本研究では，歩行空間として歩道構造，滞在を誘発する空間として歩道沿道の施設（POI）に着目し，歩行者の滞在をにぎわいの代理指標とみなし，駅からの距離を考慮しつつ，歩道の構造種別および沿道 POI の量と質が滞在数とどのように関連するかを明らかにする．対象は，乗降規模が類似し，POI の分布と質が異なる大井町駅と吉祥寺駅の周辺部とする．駅から離れた場所で滞在を生み出す物的条件を示すことで，都市部のウォーカブル整備に資する知見を得ることを目的とする．

２．研究手法

本研究では，各駅の重心から 500 m 圏を対象とし，歩道リンクを分析単位として，駅からの距離を考慮しつつ，歩道の構造種別，沿道 POI の数，口コミ数の多い POI の数，口コミ評価の高い POI の数が滞在数にどのように関連するかを検証する．手順としては，まず歩道ネットワークデータを整備し，ついで Google Maps から取得した POI 情報と，人流データから抽出した滞在情報を準備する．これらを歩道リンクに付与し，リンク中点における駅からの経路上の最短距離に基づいて分析を実施する．

２.１　歩道ネットワークデータの整備方法

歩道ネットワークデータは，国土交通省（2024）の仕様に準拠して作成する．対象とする歩道は，道路，公園，公共空間の通路，駅構内などの人が通行可能な経路とし，時間帯により通行が制限される建物内の通路などは対象外とする．歩道が明示されている場合は，歩道の中央に，

*　正会員　株式会社パスコ（PASCO Corporation）
〒153-0042　東京都目黒区青葉台 4-9-6 日本地図センタービル 5F　E-mail：tiarko7548@pasco.co.jp
**　正会員　専修大学ネットワーク情報学部（Senshu University）
***　正会員　慶應義塾大学環境情報学部（Keio University）

表１　対象とする POI の場所タイプ

amusement_park	clothing_store	meal_takeaway
aquarium	convenience_store	movie_theater
art_gallery	department_store	night_club
bakery	electronics_store	park
bar	florist	pet_store
bicycle_store	food	restaurant
book_store	furniture_store	shopping_mall
bowling_alley	grocery_or_supermarket	store
cafe	home_goods_store	supermarket
casino	jewelry_store	tourist_attraction
church	liquor_store	zoo

歩車一体の場合は車道中央にリンクを配置する．リンクの分割は，交差や分岐が生じる節点，または歩道の構造種別が変化する地点を境として行う．

歩道の構造は，歩行者専用道路（歩道橋やペデストリアンデッキを含む），物理的に歩道と車道が分離された歩道（以下，歩車分離），路面標示によって歩道と車道が分離された歩道（以下，路側帯），歩道と車道が一体化した歩道（以下，歩車一体），横断歩道，横断歩道はないが横断が可能な箇所（以下，横断箇所）に分類する．

２.２　POI データの取得方法

歩道リンクから 50 m のバッファ内に含まれる指定の場所タイプの POI を歩道沿道の施設として抽出する．抽出にあたっては Google Maps Platform が提供する Places Aggregate API を用い，Google 社の利用規定に従い API が返す集計値のみを分析に使用する．

対象とする POI の場所タイプは，飲食・娯楽系，商業・小売系，文化・観光施設系のにぎわいを生み出すと考えられる施設とし，表 1 に示すものとする．これらの POI のうち，各バッファ内に存在する POI（以下，総 POI）数，口コミ件数が 100 件以上の POI（以下，人気 POI）数，口コミ評価 4.0 以上の POI（以下，高評価 POI）数を抽出する．取得時点は 2025 年 6 月時点とする．

２.３　滞在数の取得方法

滞在は，ジオテクノロジーズ社提供の人流データ（Geo-People）を用いて抽出する．データは 1 分間隔で位置情報が得られ，移動がない場合は取得停止される特性をもつ．そこで，ユーザーID ごとに 50 m 以内で連続する最小 3 点以上かつ「ポイント数×2 分」以内の系列を滞在と判定する．さらに，近接した複数の滞在に対処するため，DBSCAN によるクラスタリングを適用し，同一クラスタ内の重心を 1 滞在として生成する（羽田野ほか，2012）．居住地などの秘匿処理されている情報は，秘匿フラグに従い除外する．生成した滞在点は近接する歩道リンクへ割り当て，リンク単位の総滞在数として集計する．対象期間は降雨がほとんど観測されなかった 2022 年 11 月 7 日（月）～2022 年 11 月 13 日（日）の 7 日間とする．

２.４　分析方法

本研究では，滞在数に影響を与える空間的要因を検証するため，一般化線形モデル（GLM）と，歩道構造・沿道施設の特性に基づくスコア分析の 2 つの手法を用いる．

主分析の GLM では，目的変数がカウントデータで過分散の特性を持つため，負の二項分布を仮定して構築する．歩道リンク単位の 7 日間の滞在数を目的変数とし，歩道長の影響をオフセット項（対数変換）で補正した上で，駅からの距離，総 POI 数，人気 POI 数，高評価 POI 数，歩道構造（歩行者専用道路，歩車分離，歩車一体，路側帯）を説明変数に投入し，駅からの距離との交互作用項を導入して駅近傍と遠方での効果差を検証する．

スコア分析では，滞在を促進しうる物的条件を把握するため，歩道構造と沿道施設の特性を簡易にスコア化し，駅からの距離帯（100 m 単位）ごとの歩道長さあたりの平均滞在数と比較する．スコアは，歩道構造が歩行者専用道路または歩車分離である場合に 1 点とし，さらに，沿道 POI 密度（歩道 1 m あたり総 POI 数），人気 POI 割合（歩道 1m あたり人気 POI 数を総 POI 数で除したもの），高評価 POI 割合（歩道 1 m あたり高評価 POI 数を総 POI 数で除したもの）の 3 項目について，同一距離帯内で相対的に良好な環境と判断できる上位 25%に該当する場合に，それぞれ 1 点を加算する．スコアは 0～4 点で構成され，空間的に条件の整った歩道リンクにおいて滞在が増加するかを視覚的に捉える補助分析として位置付ける．

３．対象地域の概況

３.１　大井町

大井町駅は品川区に位置し，東日本旅客鉄道（以下，JR）・東急電鉄・東京臨海高速鉄道の 3 路線が乗り入れる．2023 年度の平均乗降客数は 230,982 人／日（JR は降車を含まない）である．歩道の総延長は 31,743 m であり，そのうち歩車分離が 39%, 路側帯が 19%, 歩車一体が 16%, 歩行者専用道路が 14%を占める．幹線道路沿いでは歩車分離が，裏道では歩車一体や路側帯が目立つ（図 1）．

駅北西側には車両基地があり，駅内や駅前には大規模集客施設が分布する．対象地域の POI 数は 914 件で，口コミ数上位 3 位は全て大規模集客施設で，いずれも駅前に立地する．さらに，駅前には飲食店が集積し，駅から離れると住宅街が広がり，複数の商店街が駅と周辺地域を結ぶ構造となっている．高評価 POI も駅から離れた地域に多く分布する．滞在数は対象期間に 11,678 件抽出され，駅周辺に集中している．また，北西部や南部側でも滞在数がやや多い箇所がみられる．

３.２　吉祥寺

吉祥寺駅は武蔵野市に位置し，JR と京王電鉄が乗り入れる．2023 年度の平均乗降客数は 251,190 人／日（JR は降車を含まない）である．歩道の総延長は 30,978 m で，そのうち歩車分離が 30%, 歩車一体が 25%, 路側帯が 20%, 歩行者専用道路が 18%を占める．格子状の歩行空間が形成され，駅北側から南側の井の頭恩賜公園にかけて歩行

者専用道路が整備されている点が特徴的である（図１）．

対象地域の POI 数は 2,378 件あり，人気 POI は駅中や駅前に限らず，駅から離れた地域にも多い．高評価 POI も駅から離れた地域に多くみられる．駅から離れると住宅街が広がり，駅と周辺地域や口コミ数の多い施設の間を結ぶ複数の商店街が存在する．滞在数は対象期間に 25,982 件抽出され，駅周辺に特に集中している．また，駅と井の頭恩賜公園や大規模集客施設を結ぶ歩行空間周辺においても，滞在数が多くみられる．

４．結果

４.１　一般化線形モデルによる影響要因分析

表２に一般化線形モデルによる分析結果を示す．両駅に共通して，駅からの距離は滞在数に対して有意かつ強い負の影響を与えていた．一方で，駅からの距離との交互作用の分析から，駅遠方でも滞在が促される空間特性が存在することが示唆された．特に，高評価 POI 割合は主効果で有意に負の係数を示したが，交互作用項では両駅で有意に正となり，駅遠方においても高評価 POI が集積するエリアでは滞在数が増加する傾向が確認された．また，歩行者専用道路との交互作用も両駅で有意に正であり，駅遠方における歩行者空間の明確性が滞在を支える可能性がある．一方，吉祥寺では総 POI 密度が主効果として有意な負の係数を示しており，単なる POI の量ではなく，質的な要素や文脈が滞在に影響することが示唆された．これらの結果から，駅からの距離による減衰効果は一貫して存在するが，その影響は歩道構造や沿道 POI の質により緩和され得ることが明らかとなった．

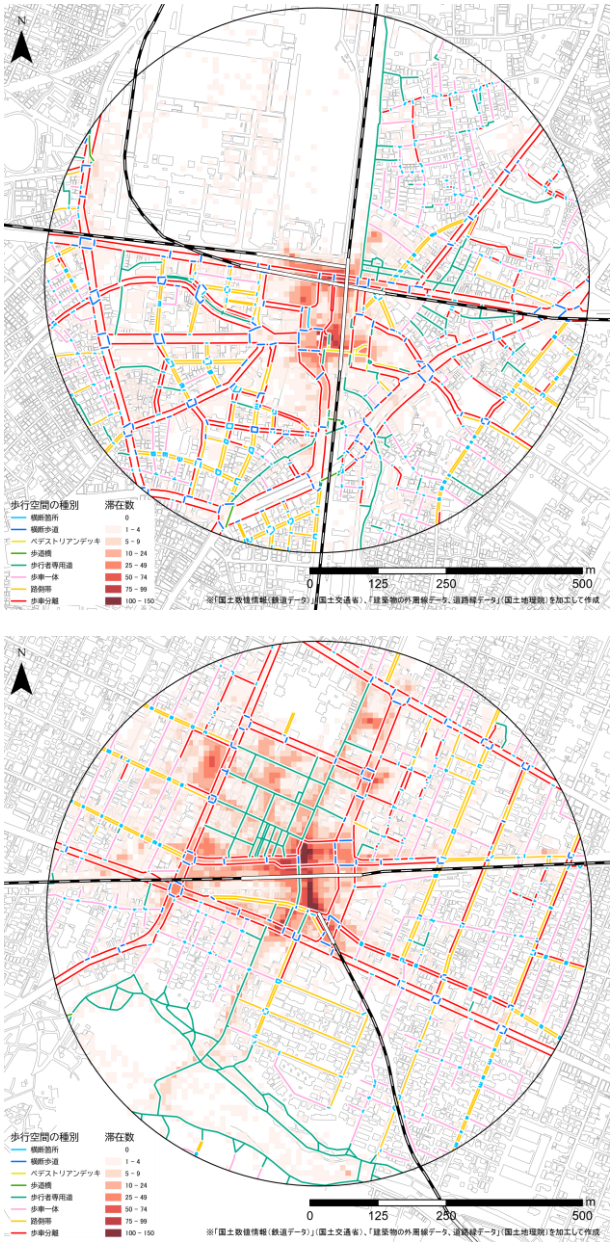


図１　歩道構造と滞在数（上図：大井町，下図：吉祥寺）

４.２　スコア分析による滞在傾向

図２にスコア分析の結果を示す．両駅ともに，駅からの距離が増すごとに滞在数が減少する傾向がみられたが，その減衰の度合いには違いが見られた．吉祥寺では大井町よりも緩やかな減少傾向を示し，より広範な範囲で人が滞在している様子がうかがえる．

スコア別では，両駅に共通してスコア 1 の歩道で最も高い滞在数が観測され，0～99 m においては大井町で 4.52 人，吉祥寺で 3.39 人と高水準を示した．吉祥寺ではスコア 0 の歩道でも同様に高い滞在数が確認されており，スコアにかかわらず一定の滞在が生じていることがわかる．100～199 m では，吉祥寺においてスコア 2 やスコア 3 の歩道も高水準で，大井町ではスコア 1 が最も高くなった．200～299 m では，両駅ともに滞在数が減少するが，吉祥寺ではスコア 3 や 4 の歩道にも滞在が見られた．

400 m 以遠の距離帯では全体的に滞在数が少ないものの，スコアごとの差異がみられる．吉祥寺ではスコア 1 の歩道で 0.14～0.23 人程度の滞在が確認されたほか，両駅ともにスコア 1 の歩道の方がスコア 0 の歩道よりわずか

表２　一般化線形モデルによる滞在数への影響分析結果

説明変数	大井町	吉祥寺
定数	5.38**(0.53)	6.37**(0.50)
駅からの距離（m）	-15.68**(1.29)	-15.36**(1.18)
総 POI 密度	0.05**(0.02)	-0.02**(0.01)
人気 POI 割合	-2.02 *(0.91)	-0.24 (0.81)
高評価 POI 割合	-10.93**(0.67)	-10.50**(0.69)
歩行者専用道路	0.18 (0.30)	0.34 (0.28)
歩車分離	0.59 *(0.25)	0.13 (0.21)
路側帯	0.05 (0.33)	-1.09**(0.30)
歩車一体	0.52 (0.47)	-0.32 (0.34)
駅からの距離×総 POI 密度	-0.34**(0.10)	0.08**(0.02)
駅からの距離×人気 POI 割合	1.25 (2.14)	-1.82 (1.82)
駅からの距離×高評価 POI 割合	22.48**(1.66)	19.00**(1.64)
駅からの距離×歩行者専用道路	1.58 *(0.79)	2.05**(0.70)
駅からの距離×歩車分離	-0.43 (0.64)	1.62**(0.57)
駅からの距離×路側帯	-1.52 (0.83)	2.89**(0.72)
駅からの距離×歩車一体	-1.80 (1.07)	0.95 (0.81)

※擬似決定係数は大井町が 0.743，吉祥寺が 0.643 と精度はやや良好で，表左側の数値は係数，**は 1%，*は 5%有意，括弧書きは標準誤差を示す

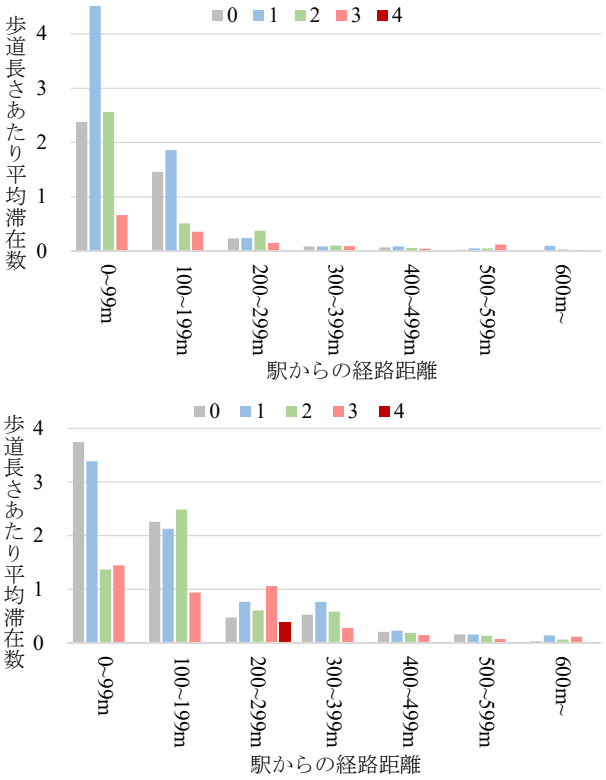


図２　各駅のスコア（上図：大井町，下図：吉祥寺）

に滞在傾向が強い様子がうかがえた．一定の整備や沿道環境が滞在に寄与している可能性が示唆される．

５．考察と結論

本研究は，大井町駅および吉祥寺駅周辺部を対象として，歩道の構造種別および沿道の施設特性が歩行者の滞在に与える影響を，駅からの距離を考慮しつつ検証することを目的として，歩道リンク単位で分析を行った．

分析の結果，駅からの距離は両地域に共通して滞在数を大きく減少させる主要因であることが，GLM およびスコア分析の双方で確認された．一方，高評価 POI 割合は主効果で負の係数を示したが，交互作用項では正に働き，駅遠方では高評価 POI の存在が滞在を支える要因となることが明らかとなった．これは，全体の平均では，高評価 POI 割合が滞在の多い駅前で低く表れるため主効果は負となるが，駅遠では少数の高評価 POI がむしろ滞在を支える要因になるためと考えられる．また，歩行者専用道路も有意に正の効果を示したほか，400 m 以遠においてもスコアの高い歩道はスコア 0 の歩道よりも滞在数が多く，歩道構造や沿道環境の重要性が示唆された．

これらの結果は，従来の駅中心の集約的な空間形成のみならず，駅から距離がある地域においても，歩道の構造的な明瞭さや，質の高い沿道施設が備わっている場合には，滞在が創出されうることを示している．特に吉祥寺においては，整備された歩行者空間やにぎわい施設が駅周辺から公園や商店街へと面的に展開している構造が，滞在の空間的広がりを支えていると考えられる．

以上より，都市部におけるウォーカブルな環境の実現には，駅前空間に加え，駅から離れた歩道においても，歩行者の安心・快適を担保する構造的整備と，質の高い施設誘導の両立が求められる．また，本研究では，歩道リンク単位で滞在数と空間要素を集計・分析することで，従来のメッシュや地点単位では捉えにくい実際の歩行経路に即した空間評価が可能となった．歩道の構造や沿道環境は連続的かつ経路上に展開されることから，リンク単位での集計はこれらの特性を忠実に反映できる枠組みであり，滞在を誘発する局所的な条件を把握し，整備対象をより具体的に特定するうえで有効である．

一方で，本研究には限界もある．対象地域が限られていること，駅の出入り口を考慮できていないこと，駅から 500 m 以遠の範囲を分析できていないこと，また駅遠方における明確な目的地の有無や性質が考慮されていない点は，今後の検討課題として残る．

謝辞

本研究は，東京都「地域を主体とするスマート東京先進事例創出事業」支援プロジェクト「デジタルエリアデザインの共創 in 大井町」の支援を受けて実施したものである．また，慶應義塾大学総合政策学部の春日裕信氏にデータ収集を協力いただいた．ここに感謝の意を表する．

参考文献

有馬隆文・大木健人・出口敦・坂井猛（2008）商業地街路における行動誘発要素と歩行者のアクティビティに関する基礎的研究―五感を刺激する商業地デザインと来訪者のアクティビティ (その 1)―,「日本建築学会計画系論文集」, **73**（623），177-182.

伊藤佑亮・高山宇宙・森本章倫（2021）Walkability の概念整理と日本での適用に向けた課題に関する研究―歩行行動の欲求段階モデルを用いた高田馬場駅周辺街路におけるケーススタディ―,「日本都市計画学会都市計画論文集」, **65**（3），811-818.

国土交通省：ウォーカブルポータルサイト，https://www.mlit.go.jp/toshi/walkable/ <2025.8.23 参照>.

国土交通省（2024）歩行空間ネットワークデータ整備仕様.

澤田春奈・松浦健治郎（2025）滞留空間としての歩道の使われ方と滞留を誘発する要素に関する研究―千葉市西千葉学園通りを対象として―,「日本建築学会計画系論文集」, **90**（828），259-265.

天谷太一・岡田潤・中村文彦・出口敦（2024）東京都区部の大規模開発集積における従業者・来街者の回遊行動の傾向の変化に関する研究,「日本都市計画学会都市計画論文集」, **59**（3），659-666.

羽田野真由美・上山智士・秋山祐樹・HORANONT Teerayu・柴崎亮介（2012）GPS データを用いた商業集積地来訪者の行動パターン抽出方法の検討,「地理情報システム学会講演論文集」, **21**.

GPS データを用いた滞在抽出による駅周辺回遊行動の定量化とその課題

中山俊*・金森貴洋・厳網林*****

Quantification of Pedestrian Wandering Behavior around Stations through Stay Point Extraction from GPS Data and Its Challenges

Shun Nakayama*, Takahiro Kanamori**, Wanglin Yan***

Abstract: This study developed a methodology for quantifying pedestrian wandering behavior around stations by automatically extracting stay points from GPS data. We constructed a stay detection method combining DBSCAN spatial clustering algorithms with temporal continuity constraints and conducted analysis targeting 18 stations along the Chuo Line. Using intra-area complete trips as indicators, we confirmed an exponential relationship with station passenger numbers (R^2=0.83) and a linear relationship with unique users (R^2=0.98). Hachioji Station showed effects of multiple transportation nodes, while Toyoda and Kichijoji stations exhibited wandering promotion effects from dispersed commercial facilities. However, methodology validation faces technical and practical constraints, requiring future development of comprehensive validation frameworks combining multiple approaches.

Keywords: 回遊行動（Wandering behavior），GPS データ（GPS data）、滞在判定（Stay point detection）、ウォーカビリティ（Walkability）

１．はじめに

我が国では人口減少社会への突入と共に、持続可能な都市構造への転換が急務となっている。東京都はコンパクトシティへの転換に向けて「集約型の地域構造への再編に向けた指針」を発表し、駅周辺の建築ボリュームを諸制度の活用によって緩和することで、機能的で賑わいのある拠点形成と歩いて暮らすことができる街の実現を目指している。この政策は、建築ボリュームとその配置が人々の歩行行動や地域の賑わいに異なる影響を与えるという前提に立っており、どのような都市空間が効果的な人流動を生み出すか、科学的な解明が求められている。

人々の歩行行動や地域の賑わいを捉える指標の一つに歩行者の回遊行動があり、これを用いて容積率の規制緩和が与える影響を評価する試みがある(天谷ほか, 2024)。回遊行動は市街地評価やウォーカブルなまちづくりにおいて重視されているが(武田・有馬, 2010)、その捉え方は研究によって異なる。既往研究では、面的な流動量から捉える方法(西村ほか, 2018; 佐藤・円山 2015)、個人の最短距離でない移動から捉える方法(天谷ほか, 2024)、個人の滞在の連続から捉える方法(羽藤ほか, 2002)に大別される。近年、スマートフォンの GPS データが容易に入手可能となり、流動量や迂回行動に基づく分析は増加している。しかし、純粋に回遊という概念から想起される「滞在の連続」として回遊を捉える手法は、解析技術の制約により十分に実装されていない。

そこで本研究では、GPS データから個人の滞在地点を自動抽出し、滞在地点間の移動をトリップとして定義することで回遊行動を定量化する手法を開発する。この手法を用いて、駅周辺の回遊行動分析を実施し、駅ごとの回遊性能を比較評価する。従来のアンケート調査では把握困難であった詳細な回遊パターンを客観的に分析することで、どのような駅周辺の空間特性が歩行者の回遊を促進するかを明らかにする。本研究の成果により、駅周辺の都市空間における実際の人々の行動パターンを客観的に把握する手法が確立され、効果的な都市計画実現のための科学的根拠が提供される。特に各駅の回遊性能比較から得られる知見は、今後のウォーカブルなまちづくりの指針策定に重要な貢献をもたらすことが期待される。

２．手法

２.１　回遊の捉え方

本研究では、回遊行動を「個人が特定の地域内において複数の地点に連続的に滞在し、それらの滞在地点間を移動する一連の行動」として定義する。「滞在」とは個人が一定の場所に一定時間留まった状態を指し、「トリップ」とは滞在地点間の移動を指す。すなわち、滞在 A→移動→滞在 B→移動→滞在 C という一連の行動パターンにおいて、滞在 A から滞在 B への移動を 1 トリップ、滞在 B

*　正会員　　専修大学ネットワーク情報学部（Senshu University）、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科
〒214-8580　神奈川県川崎市多摩区東三田 2-1-1　Tel：044-712-7772 または E-mail：shunnkym@isc.senshu-u.ac.jp
**　正会員　　株式会社パスコ（PASCO Corporation）
***　正会員　　慶應義塾大学環境情報学部（Keio University）

から滞在 C への移動を 1 トリップとして計数する。この概念化により、従来のアンケート調査では把握困難であった短時間の立ち寄りや複雑な移動パターンを含む、詳細な回遊行動の定量化が可能となる。つまり滞在の捉え方が肝要であり、以下に滞在の判定手法を解説する。

滞在判定の前に、データを前処理する。研究対象地域として任意の鉄道駅を選定し、各駅を中心とした半径 800m のバッファを設定する。800m は一般的な徒歩圏内として認識される範囲であり、「集約型の地域構造への再編に向けた指針」においても利用されていることもあって、駅利用者の行動範囲を適切に捉えることができる範囲として決定した。続いて、このバッファ内に対象日に訪問した人を抽出する。今回使用する人流データはジオテクノロジーズ社より取得したデータで、標準地域メッシュ単位で管理されているため、設定したバッファと重複する全てのメッシュを特定した。駅周辺 800m 圏内で記録されたすべてのユニークなユーザーID から、バッファ内に滞在歴のある個人を抽出した。その後、これらの個人について 1 日全体の移動データを収集した。

続いて、滞在を判定する。本研究で使用するデータには、プライバシー保護の観点から個人識別情報の秘匿処理が施されているエリアが含まれている。この秘匿処理は、自宅が含まれる標準 6 次メッシュに関して、実測の位置ではなく、この標準 6 次メッシュの重心点に置き換えられるというものである。そのため秘匿処理フラグ（isanonymous）が True のエリアについては、個人が自宅に滞在していたとみなし、最低 1 ポイント以上で滞在として認定する処理を実装した。一方、秘匿処理が施されていない通常の GPS データ（isanonymous が False）については、より詳細な空間クラスタリング手法を適用した。秘匿処理されていない GPS データに対しては、Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise（DBSCAN）アルゴリズムを適用して滞在判定を行った。DBSCAN のパラメータは、空間的閾値を 50 メートル、最小ポイント数を 3 ポイントに設定した。これらの値は、GPS の測位誤差と一般的な滞在行動の特性を考慮して決定した。

滞在判定において空間的な近接性だけでなく、時間的な連続性も重要な要素である。そのため、DBSCAN による空間クラスタリングを実行する前に、時系列順に並べられた GPS ポイントが時間的に連続していることを確認する処理を実装した。具体的には、ある時点を開始点として、そこから時間的・空間的に連続する一連のポイント群を抽出し、それらに対してクラスタリングを適用する手法を採用した。そして、時間的制約として、連続する位置情報ポイント群について最大 2 分間隔での記録を前提とし、1 つのクラスタ内のポイント数に 120 秒を乗じた値を最大許容時間として設定した。最大 2 分間隔としたのは、使用したジオテクノロジーズ株式会社の GPS データ Geo-People が基本的に 1 分間隔で取得されていることを踏まえた物である。この制約により、長時間にわたって断続的に記録されたポイントが 1 つの滞在として誤認されることを防いだ。

なお、1 人の個人について複数の滞在が時間的に重複する場合が発生するため、これらを適切に統合する処理を実装した。同一個人における時間的に重複する滞在については、開始時刻と終了時刻を比較し、重複が検出された場合は 1 つの連続した滞在として統合した。統合処理では、滞在期間を重複部分を含めて延長し、ポイント数を合算し、中心座標を各滞在のポイント数による重み付け平均として再計算した。単純な 2 つの滞在間の重複だけでなく、複数の滞在が連鎖的に重複する場合も考慮した処理を実装した。この処理では、統合可能な滞在がなくなるまで反復的に統合処理を実行し、最終的に同一個人の滞在時間に重複が生じないようにした。

２.２　指標の活用方法

本研究で開発した手法により抽出されたトリップについては、様々な特性を定量化することが可能である。トリップの空間的特性としては、起点や終点の空間分布やトリップの距離が挙げられる。時間的特性については、トリップの所要時間や、滞在時間が重要な指標となる。数量的特性としては、駅 800m 圏内などで発生したトリップ総数、1 人の個人が実行したトリップの数、1 人の個人による連続する滞在の数などが考えられる。このうち空間的特性や時間的特性は、回遊行動の質的評価において主要な指標となりうる。例えば滞在時間の長さは、その場所に対する個人の関心度や満足度を反映する可能性があり、トリップの距離は回遊範囲の広がりを示す指標として機能する。これに対し、数量的特性は回遊行動そのものを捉えるのに役立つ、基本的指標と言える。

本稿で回遊行動の発生量に着目し、数量的特性を捉える。具体的には、エリア内完結トリップの集計により、各駅について以下の指標を算出する。第 1 に、エリア内完結トリップの総数である。この値は、駅周辺における回遊行動の絶対的な発生量を示し、地域の活動性や賑わいの程度を表現する。第２に、一人当たりのエリア内完結トリップ数である。この値は、駅周辺を訪れた個人の平均的な回遊活動量を示し、空間の魅力度や多様性を反映する指標として機能する。また、この具体的な算出においては、エリア内完結トリップのユニークなユーザー数を母数にする考え方と、駅の乗降客数ないし乗車人員を母数にする考え方がある。

３．ケーススタディ

３.１　対象地域

本研究では、JR 中央線の中野駅以西から高尾駅までの

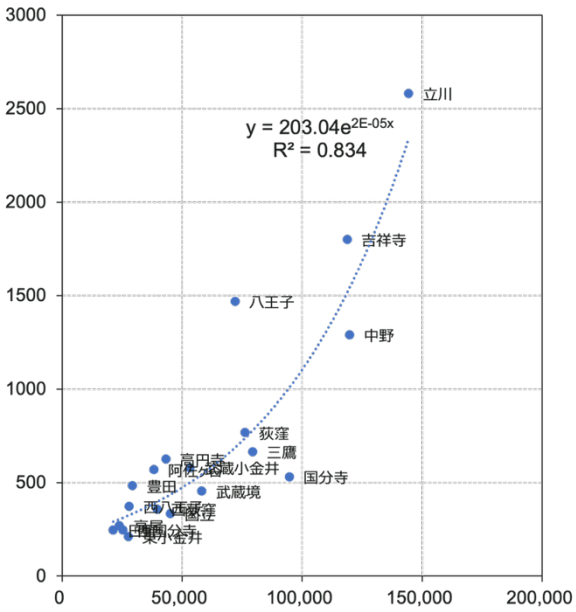


図 1　乗車人員数(横軸)とトリップ数(縦軸)

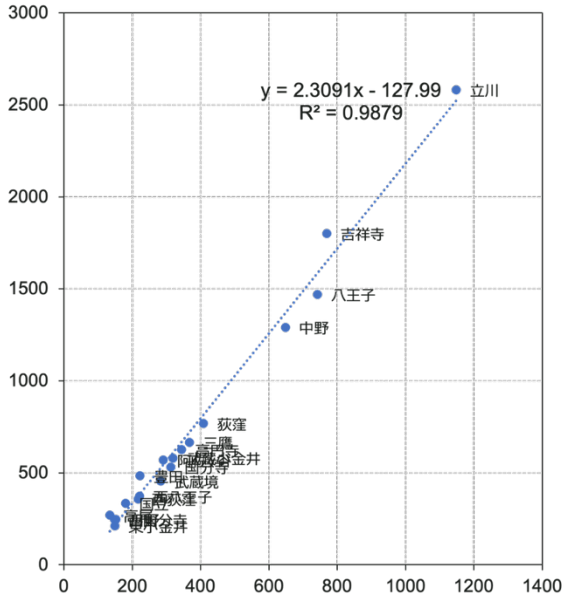


図 2　ユニークなユーザー数(横軸)とトリップ数(縦軸)

18 駅を対象地域として設定した。この対象地域の選定は、東京都の「集約型の地域構造への再編に向けた指針」で示されている地域構造の多様性を反映している。中野駅や吉祥寺駅のような都心近郊の商業地域から、立川駅や八王子駅のような郊外拠点、さらには豊田駅や高尾駅のような郊外住宅地域まで、異なる都市機能と空間特性を持つ駅が連続的に分布している。このような地域特性の違いは、駅周辺の回遊行動に与える影響を分析する上で理想的な条件である。また、中央線沿線は東京圏における代表的な放射状に伸びる鉄道路線の一つであり、本研究で得られる知見は東京の他路線や類似の都市構造を持つ地域への応用可能性を有している。

なお分析対象日として 2022 年 11 月 8 日（火曜日）を設定した。この日は国民の祝日等ではない一般的な平日であり、気象庁の記録によると東京地方は晴天で、11 月としては典型的な気候条件であった。

3.2　分析結果

中央線沿線 18 駅を対象とした分析の結果、エリア内完結トリップ数と駅の利用状況との間に明確な関係性が確認された。以下、2 つの異なる観点から結果を示す。

各駅の乗車人員とエリア内完結トリップ数の関係を分析した結果、両者の間には指数的な関係が認められた。図 1 に示した散布図における指数近似曲線の R^2値は 0.83 となり、強い相関関係を示している。この結果は、駅の利用者数が増加するにつれ、駅周辺での回遊行動が指数的に増加することを示唆している。この傾向は、駅周辺の商業集積や都市機能の密度が一定の水準に達すると、相互の相乗効果により回遊行動が促進されることを示している可能性がある。

一方、エリア内完結トリップを行ったユニークなユーザー数とエリア内完結トリップ総数の関係については、図 2 のように線形関係が確認された。線形近似の R^2値は 0.98 と極めて高い値を示し、両変数間の強い線形相関を表している。この線形関係から導かれる重要な知見は、ユニークユーザー数の少ないエリアほど 1 人当たりのトリップ数が少なく、ユニークユーザー数の多いエリアでは 1 人当たりのトリップ数が多くなる傾向である。この傾向は、駅周辺を訪れる人数が多い地域ほど、個人レベルでの回遊活動も活発になることを示している。つまり、人が多く集まる場所では、個人の行動選択肢や移動の動機が増加し、結果として 1 人当たりの回遊頻度も高まると考えられる。

4．議論

4.1　駅特性と回遊行動

前節で示した分析結果から、駅周辺における回遊行動の発生メカニズムと各駅の特性について重要な知見が得られた。図 1 と図 2 からは、駅利用者数がある水準を超えると、商業施設の集積や多様な都市機能の充実により、回遊行動を誘発する環境が急激に整備され、結果として回遊行動が加速度的に増加することが示唆された。

駅ごとの個別事象で特に注目すべきは、八王子駅におけるエリア内完結トリップ数の突出した多さである。この駅は乗車人員に対して近似曲線を大きく上回る回遊行動を示しており、この現象の要因として、駅周辺 800m 圏内に京王八王子駅が立地していることが挙げられる。2 つの異なる鉄道事業者の駅が近接して立地することで、より広範囲からの利用者の集積が生じ、また鉄道間の乗り換え需要により駅周辺での滞在時間が延長され、回遊行

動が促進されていると推測される。阿佐ヶ谷駅も同様の可能性がある。これらの結果は、交通結節点の近接配置が回遊行動に与える効果を実証的に示している。

また、図 1 及び 2 の両方で、豊田駅と吉祥寺駅が近似線を大きく上回る回遊行動を示している。これらの駅に共通する特徴は、駅からやや離れた徒歩圏内に大規模集客施設が立地していることである。豊田駅周辺にはイオンモール日の出などの大型商業施設があり、吉祥寺駅周辺には東急百貨店、ヨドバシカメラなどの多様な商業施設が点在している。また、吉祥寺駅周辺は商業施設だけでなく、井の頭公園という大規模な緑地空間も含まれており、商業・レクリエーション機能の複合的な配置が多様な回遊動機を創出していると推察される。

これらの結果から、効果的な回遊行動を創出する都市空間の条件として、単純な施設の密度だけでなく、施設の分散配置と機能的多様性が重要な要素であることが示唆された。特に、駅を中心とした 800m 圏内における複数の集客拠点の適切な配置が、歩行による回遊行動を効果的に誘発すると考えられる。

４.２　回遊の捉え方の検証方法

本研究では、GPS データから滞在地点を自動抽出し、滞在間の移動をトリップとして定義する手法により回遊行動を定量化した。しかし、この手法の妥当性を検証することは技術的・実践的な課題を多く含んでいる。ここでは、考えられる検証方法とその限界、そして今後の検証に向けた課題について論じる。

本手法の検証方法として、第 1 に、GPS データの可視化による目視判定との比較が考えられる。具体的には、個人の移動軌跡を GIS 上で可視化し、研究者が時空間的な位置情報の分布パターンから滞在地点を目視で判定し、本研究で開発したアルゴリズムによる自動判定結果と照合する手法である。この方法は、滞在判定の空間的精度や時間的妥当性を直接的に評価できる利点がある。第 2 の方法として、実際の歩行行動との照合による検証が考えられる。これは、研究協力者にトリマアプリを使用した状態で特定の地域を歩行してもらい、その際の実際の行動記録（立ち寄り先、滞在時間等）を詳細に記録し、後日 GPS データから抽出された滞在・トリップデータと照合する手法である。この方法により、実際の人間の行動認識と自動判定アルゴリズムの整合性を直接的に検証することが可能となる。

しかし、これらの検証方法にはいずれも本質的な限界が存在する。目視判定による検証では、研究者の主観的判断に依存する部分が大きく、判定基準の統一や再現性の確保が困難である。特に、短時間の立ち寄りや移動中の一時的な停止を滞在として認定するかどうかの判断は、研究者間で異なる可能性が高い。また、大量のデータに対して目視判定を行うことは現実的ではなく、検証可能なサンプル数が限定される。実際の歩行行動との照合による検証においても、サンプル数の制約が重大な問題となる。また、個人のプライバシーに関わる詳細な位置情報の取得と利用には倫理的な配慮も必要である。

これらの課題を踏まえると、複数のアプローチを組み合わせた包括的な検証枠組みの構築が必要である。スマートフォン以外の測位デバイスを用いた比較分析により、手法の妥当性を評価することができる。完全な検証は困難であることを認識しつつ、複数の部分的検証結果を統合的に評価することで、手法の信頼性と適用可能性を段階的に向上させていくアプローチが現実的だろう。

５．結論

本研究では、GPS データから個人の滞在地点を自動抽出し、滞在地点間の移動をトリップとして定義することで回遊行動を定量化する手法を開発し、中央線沿線 18 駅を対象としたケーススタディを通じてその有効性を実証した。開発した手法により、従来のアンケート調査では把握困難であった詳細な回遊パターンを客観的に分析することが可能となった。八王子駅における複数交通結節点の相乗効果、豊田駅や吉祥寺駅における分散配置された大規模集客施設の回遊促進効果など、具体的な都市空間特性と回遊行動の関係が示唆された。

一方で、本手法の検証については課題が残る。今後、複数の検証を組み合わせた包括的な検証枠組みの構築により、信頼性を段階的に向上させていくことが期待される。

謝辞

本研究は、東京都「地域を主体とするスマート東京先進事例創出事業」支援プロジェクト「デジタルエリアデザインの共創 in 大井町」の一環で実施された。

参考文献

羽藤英二・中西雅一・寺谷寛紀・柏谷増男（2002）都市内回遊行動評価のための空間データマイニング.「土木学会研究講演集」, 26.

佐藤貴大・円山琢也（2015）スマホ・アプリ型回遊調査データによる熊本都心部回遊行動圏の分析.「都市計画論文集」, 50（3）, 345-351.

西村圭太・杉本興運・菊地俊夫（2018）コミュニティサイクル利用観光者の回遊行動特性.「観光研究」, 29 (2), 29-42.

天谷太一・岡田潤・中村文彦・出口敦（2024）東京都区部の大規模開発集積地における従業者・来街者の回遊行動の傾向の変化に関する研究.「都市計画論文集」, 59（3）, 659-666.

武田裕之・有馬隆文（2010）中心市街地における回遊性能の可視化・定量化に関する研究.「都市計画論文集」, 45 (3), 73-78.

東京都市圏における鉄道通勤経路選択の統計力学的モデル
GPS データによる実証分析

鄭　軼璇（テイ　イーシャン）*・高安秀樹・高安美佐子*****

Statistical Mechanics of Urban Mobility
- A Canonical Ensemble Model of Route Choice in Tokyo

Yixuan Y. Zheng*, Hideki Takayasu**, Misako Takayasu***

Abstract: This study applies a multinomial logit (MNL) framework to analyze railway commuters' route choices using a large-scale dataset of smartphone GPS trajectories. We design a data processing pipeline that extracts structured commuting paths, including transport mode and transfer information, from raw location traces. The model highlights key behavioral patterns in commuter decision-making, such as the substantial disutility associated with transfers and the influence of station capacity on route attractiveness. Our findings demonstrate that passively collected GPS data can support robust revealed-preference modeling at metropolitan scale, offering new opportunities for understanding commuter route choice and informing transit planning.

Keywords: 都市交通（Urban mobility），経路選択モデル（Route choice modeling），GPS 軌跡（GPS trajectories），離散選択分析（Discrete choice analysis），統計力学（Statistical mechanics）

１．はじめに

高度に発展した鉄道網の上では、個人の出発地と目的地が仮に同じであっても、それらの間の通勤ルートは複数ありうる。そこで、出発地と目的地が与えられたとき、どのような要因がルート選択に影響を与えているかを定量化することは、通勤人流のモデル化や、都市計画や交通政策の立案において極めて重要である[1]。特に東京都市圏は世界最大級の鉄道ネットワークを有し、約 3,800 万人の居住者のうち、日々1,000 万人以上が鉄道通勤を行っている。本研究は東京都市圏（東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県）における通勤人流をスマートフォン GPS データから取得し、鉄道による通勤を対象に絞り、ルート選択のモデルを構築した。

従来の経路選択研究は、主に個人の効用最大化理論（Random Utility Maximization: RUM）に基づく離散選択モデルを用いてきた [2, 3]。個人にとって、通勤は他の移動と比べて特殊な移動である。東京の通勤システムは以下の特徴的な制約を持つ：

- 定期券制度：多くの企業が通勤定期代を支給し、経路が事実上固定される
- 固定的な勤務時間：朝夕の通勤ラッシュが極めて集中的
- 高密度な鉄道網：同一 OD 間に複数の実行可能な経路が存在

これらの制約により、通勤行動は個人の自由な選択というより、システム全体が制約下で平衡状態に達した集団現象として理解する方が適切である。

1.2 研究目的と貢献

本研究では、約 100 万人/日のスマートフォン GPS データを用いて、一年間十二ヶ月分通勤者の経路選択行動を統計物理学の正準集団（カノニカル・アンサンブル）モデルとして分析する新しいアプローチを提示する。主な貢献は以下の 3 点である：

一、 理論的貢献：離散選択モデルのスケールパラメータを物理学的な再解釈
二、 実証的貢献：乗り換えペナルティの定量化
三、 方法論的貢献：大規模 GPS データから通勤パターンを抽出する包括的な分析パイプライン

２．データと方法論

２.１　使用データの概要

本研究では、Agoop 社提供の匿名化された GPS 位置情報データを使用した。データの特徴は以下の通り：

対象期間：2023 年 1 月～12 月の平日（週末・祝日を除く）

対象地域：首都圏（東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県）

*　学生会員　東京科学大学工学部（Institute of Science Tokyo）
〒226-8501 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259　E-mail: yixuan.z.5b0a@m.isct.ac.jp
***　非会員　東京科学大学情報理工学部（Institute of Science Tokyo）
〒226-8501 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259　E-mail：hideki.takayasu@gmail.com
**　非会員　東京科学大学情報理工学部、工学部（Institute of Science Tokyo）
〒226-8501 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259　E-mail：takayasu@comp.isct.ac.jp

サンプル数：約 100 万人/日のスマートフォンユーザー
時間解像度：約 1 分間隔での位置記録
空間精度：約 10 メートル
データには以下の制約が存在する：

1. プライバシー保護のため、ユーザーID は日次でリセット
2. 13 歳未満と 65 歳以上の利用者が過少代表
3. 居住地の正確な位置は 100m グリッドの中心点に集約

2.2 GPS データ処理パイプライン

2.2.1 活動状態の分類

各 GPS 点を以下の 5 つの状態に分類した：

状態	定義	判定基準
home（自宅）	居住地での滞在	4 時間以上滞在、午前 5 時の最初の記録
work（職場）	勤務地での滞在	5 時間以上滞在、自宅以外の場所
move（移動）	高速移動状態	速度 8km/h 以上、停止時間 4 分未満
stroll（立ち寄り）	短時間の停止・低速移動	速度 8km/h 未満、滞在時間 4 分以上 30 分未満
stay（滞在）	長時間の滞在	1km グリッド内に 30 分以上継続滞在

2.3 カノニカルモデルの定式化

経路選択を統計力学の正準集団として扱い、通勤者 n が経路 j を選択する確率を以下のボルツマン分布で表現した：

$$P_{nj} = \frac{\exp(-\beta E_{nj})}{\sum_{k \in C_n} \exp(-\beta E_{nk})}$$

ここで：
E_{nj}：経路 j のエネルギーコスト（負効用）
β：逆温度パラメータ（スケールパラメータ）
C_n：通勤者 n の選択可能経路集合
エネルギー関数は経路属性の線形結合として定義：

$$\mathrm{E_{nj}} = \boldsymbol{\omega} \,.\, \mathbf{X_{nj}^{T}}$$

説明変数X_{nj}は六次元のベクトル、構成要素は：

変数	解釈
通勤時間	分単位、ドア・ツー・ドア
通勤距離	限界効果の逓減を考慮
乗換回数	通勤モチーフから抽出
ラッシュ通勤	ダミー変数 1 か 0
第 1 乗換駅容量	最大時間帯利用者数
第 2 乗換駅容量	同上

3 主要な結果

3.1 経路選択安定性

12 ヶ月間の月次推定により、パラメータの時系列安定性を検証した。
特に、スケールパラメータ β 値の月次変動：
年間平均：0.90
変動範囲：0.85-0.95
最小値：6 月（梅雨期、0.85）
最大値：9 月（秋の安定期、0.95）
この安定性は、研究地域の通勤システムが統計的温度とする平衡状態にあることを示唆している。

3.3 行動的洞察

$\frac{\omega_{NT}}{\omega_{CT}}$ によって、1 回の乗換は約 20 分の追加移動時間に相当する心理的負担を生じさせる。これは交通計画者にとって重要な閾値である。
乗換駅容量の非対称効果については
第 1 乗換駅（正の係数）：高容量駅での混雑を忌避
第 2 乗換駅（負の係数）：高容量駅の利便性を評価
この非対称性は、通勤者が旅程の最終段階の快適性を重視することを示している。第 2 乗換駅は多くの場合、新宿や渋谷などの主要ターミナル駅であり、高頻度運行や充実した設備が混雑のデメリットを上回る。

3.2 モデル性能

McFadden の疑似 R^2は 0.160、的中率は 51.8%を達成した。これは平均 6 つの選択肢からのランダム選択（17%）を大きく上回る予測能力を示している。

4. 考察と今後の課題

本研究は、通勤経路選択を物理学的枠組みで捉える新たな方法を提示し、集団的平衡現象として通勤パターンを理解できることを示した。一方で、(1) GPS 点分類の閾値が経験的であること、(2) 運賃変数を含めていないこと、といった限界がある。

今後は、混合ロジットによる異質性の考慮、経路間相互作用や非定常性の分析などが重要な拡張課題となる。

参考文献

[1] Zheng YY, Shida Y, Takayasu H, Takayasu M. Enhancing the gravity model for commuters: Time-and-spatial-structure-based

improvements in Japan's metropolitan areas. PLoS One. 2025 Aug 12;20(8):e0329603. doi: 10.1371/journal.pone.0329603.
[2] 近藤恵介 (2019).「構造推定による通勤不効用の評価」RIETI Discussion Paper Series 19-J-014. 経済産業研究所
[3] Kaneko, N., Oka, H., Chikaraishi, M., Becker, H., & Fukuda, D. (2018). Route choice analysis in the Tokyo Metropolitan Area using a link-based recursive logit model featuring link awareness. Transportation Research Procedia, 34, 251–258. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.11.042

鉄道インフラ管理における課題解決を志向したモバイル GIS の開発と評価

清水 智弘*・松本 亮介・名加 達矢***・林 博文****・加藤 昌史*****

A Study on the Development and Evaluation of a Mobile GIS for Railway Infrastructure Management Aiming to Solve Challenges

Tomohiro SHIMIZU*, Ryosuke MATSUMOTO**, Tatsuya NAKA***, Hirofumi HAYASHI**** and Masashi KATO*****

Abstract: The railway industry is facing critical societal challenges such as a shrinking workforce and the need for technology transfer. There is a growing demand for efficient infrastructure management using Geographic Information Systems (GIS). This paper presents an applied study on the development and validation of a mobile GIS for railways to address these issues. We propose a mobile GIS with a web-based, loosely-coupled architecture to overcome the limitations of conventional systems, specifically their restricted user environments and usability issues. Our approach is based on a UX research study and an analysis of access logs derived from 18 years of operational experience. The results quantitatively demonstrate that the proposed system enhances usability, improves information sharing efficiency, and facilitates the formalization of tacit knowledge. These findings contribute to improving the productivity and safety of railway field operations, serving as a new case study for applied GIS research in the railway sector.

Keywords: 鉄道インフラ管理（Railway Infrastructure Management），モバイル GIS（Mobile GIS），ユーザエクスペリエンス（UX）（User Experience (UX)），デジタルツイン（Digital Twin），働き方改革（Work Style Reform）

１．緒言

鉄道業界では，労働人口の減少と熟練技術者の退職に伴う技術継承が喫緊の課題となっている．加えて，激甚化・頻発化する自然災害への対応力強化も不可欠である．こうした課題に対し，西日本旅客鉄道株式会社（以下，JR 西日本）は，地理情報システム（以下，GIS）を活用したデジタル鉄道インフラの情報共有・連携基盤を 2007 年に開発した（吉川ほか，2009）．この鉄道 GIS は，多岐に渡る部門が共通で利用でき，インフラ構造物に関わる設計，施工，維持管理といった平時の業務にくわえ，自然災害などの異常時対応においても活用されている．

鉄道インフラの管理において，デジタル化のニーズは高まっているものの，現場作業に特化した GIS 活用の成功事例はまだ少ないという課題が残る．本稿は，このギャップを埋めるための応用研究である．具体的には，18 年にわたる運用経験から得られた現場のニーズ（容易な閲覧・検索機能など）を反映した GIS 応用システムを提案し，その有効性を検証する．鉄道インフラが直面する情報共有と安全管理の非効率性を解決する具体的なアプローチを示すことで，鉄道分野における GIS 応用研究の新たな一例となることを目指す．

２．既存 GIS の課題

既存 GIS は情報共有基盤としての役割を担い，連携や機能追加によって進化を続けてきたが，その運用の中でいくつかの課題も顕在化してきた．ひとつ目の課題は，利用環境の制約である．新型コロナウィルス感染症のパンデミックを契機に，JR 西日本ではテレワークが導入され，現業部門へのタブレット端末の配備も進んだ．これにより「GIS をテレワーク先や現場でも使用したい」というニーズが急速に高まった．従来の GIS はクライアント・サーバ型の Windows のデスクトップアプリであり，かつイントラネットからのアクセスに限定されていたため，多様なデバイスや場所での利用には適さないという

*　正会員　ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社（JR West Japan Consultants Company）
〒532-0011　大阪市淀川区西中島 5-4-20
E-mail：shimizu.tomo@jrnc.co.jp
**　非会員　西日本旅客鉄道株式会社（West Japan Railway Company）
***　非会員　西日本旅客鉄道株式会社（West Japan Railway Company）
****　賛助会員　応用技術株式会社（Applied Technology CO.,LTD.）
*****賛助会員　株式会社インフォマティクス（Informatix Inc.）

構造的な課題を抱えていた．このためシステムのモダナイゼーション（近代化）が不可欠となった．

ふたつ目の課題は，ユーザビリティである．鉄道現場では，時間的制約のある中で安全に作業を行う必要があるため，精神的・肉体的な負荷の総量であるインタラクションコストを最小限に抑え，「扱いやすい」システムにすることが求められた．従来の GIS は多岐に渡る部門の多様な要件を満たすために，専門性が高く，高度な機能が多数実装されていた．このため，複雑なユーザインターフェイス（UI）となり，現場ユーザが少ない操作で目的を達成することは困難であった．

３．モバイル版 GIS の開発

３.１　コンセプトデザイン

鉄道は，土木・建築・機械・電気・都市計画など多くの工学系統が高度に関わる総合工学であり，部門ごとに異なる課題に連携を持たせる必要があった．そこで，全系統のユーザニーズを明確にし，ユーザニーズに最適化された機能と，インタラクションコストに留意した「モバイル版鉄道 GIS（以下，本システム）」を開発した．

具体的には，「Where：どこにどのような設備があるか」という全系統に共通するニーズと，「How：どのような設備を管理するのか」という系統ごとの異なるニーズを分離した．これにより「閲覧」や「検索」をユーザ体験の中心に据えた「鉄道インフラデータ検索サービス」をコンセプトとした．

また，鉄道インフラの管理は，路線の起点となる駅（0 キロ地点）から，線路に沿った延長距離を示す「キロ程」と呼ばれる位置情報で行われている．そこで，そのキロ程を仮想化した「デジタルキロポスト」をマップ上のシンボルとして採用した（図 1）．

３.２　アーキテクチャ

既存 GIS が抱える密結合なシステム構造の課題を解決するため，本システムにおいては，サービスを独立したコンポーネントとして実装するマイクロサービスアーキテクチャを採用し，システムの拡張性を確保した（図 2）．

具体的には，キロ程⇔緯度経度の変換や，緯度経度から周辺の設備情報を取得する，といった鉄道向け GIS として汎用的に必要となる機能は『GIS-W-API』として API 環境を整備し，他の業務システムとの連携を可能とした．

また，Google Maps Platform®を本システムでは利用し，衛星写真の表示や経路案内等の機能を効率的に実装した．Google Maps Platform®の API 以外にも，任意の API を利用して地図上にコンテンツを統合する仕組みを構築した．これにより，多様なユーザニーズにも API の組み合わせにより開発コストを抑えながら応えられる構成とした．



図 1　デジタルキロポスト



図 2 本システムのアーキテクチャ

３.３　主な機能

（１）位置情報の変換・共有・検索

鉄道インフラは主に「キロ程」で管理されているが，系統によっては住所で管理する場合もあり，位置情報が異なる．さらに，一般的な緯度経度では位置の特定やイメージを共有することが困難である．この課題に対し，本システムでは，緯度経度からキロ程へ，キロ程から住所へと位置情報を相互に素早く変換することで，円滑な意思疎通を可能にした．

また，ユーザ体験の中心に位置づけたキロ程や構造物・設備等の検索機能は，Google Maps®に準拠した操作性とすることでユーザの学習コストを最小化している（図 3）．

（２）情報登録・共有・可視化

災害などの異常時における迅速な意思決定には，部門横断的な情報共有が不可欠である．とくに，現場状況の早期把握はダウンタイムを解消し，応急対応を円滑にする．この課題に対し，本システムでは，位置情報を取得可能な端末でユーザの居場所をリアルタイムで共有可能とした（図 4）．少ない操作かつシンプルな UI にすることで，時間的制約のある状況でも活用しやすくしている．

（３）現場周辺環境の机上把握

鉄道の現場作業は，安全確保のため，列車走行がない限られた時間帯での実施が必須であり，かつ線路周辺の多様な設備に囲まれた狭隘な空間で注意を払いながら行う必要がある．このため，時間的・空間的な制約が極めて大きい．これにより，労働災害や輸送障害といった大きなリスクを伴う．本システムでは，現地調査の一部を

デジタル空間で可能にすることで，現場作業機会の減少と安全性の向上を両立させることを目指した．具体的には，航空写真や Google ストリートビュー®と連携し，事務所でも現地の周辺環境を把握できるようにした(図 5)．これにより，計画立案や情報収集・共有の効率化を図り，現地での作業時間を短縮することに貢献する．

（４）ナレッジの蓄積・活用

現場の「暗黙知」は働き手の減少に伴い失われるリスクがある．そこで，本システムでは，個人の経験やノウハウを地図上に記録し「形式知」として可視化・共有できる機能を提供した（図 6）．ユーザは，キロ程や Microsoft® Excel®台帳からも容易に位置情報をマッピングでき，複雑な GIS 操作の知識を必要としない．さらに，共有権限を細かく設定することで，ナレッジの円滑な継承を促進する．

（５）オープンデータの活用

本システムは，国土地理院タイルなどのラスタタイル（TMS 形式）やベクタタイル（Geo JSON 形式）といったオープンな地理空間データを取り込む機能を実装した(図 7)．これにより，従来の独立した環境で運用されてきた鉄道 GIS に，外部の豊富な背景情報を統合することが可能となった．このアプローチは，鉄道インフラが直面する情報共有の非効率性を解決するための具体的なアプローチのひとつとなる．

（６）動的データの可視化

鉄道インフラの管理において，静的な情報にくわえ，現場の動的な状況をリアルタイムに把握することは迅速かつ安全な意思決定に不可欠である．従来の GIS にも動的データの可視化は可能であったが，密結合なシステム構成がデータの取得や更新に制約を課していた．この課題に対し，本システムはより疎結合なアーキテクチャを採用することで，動的データの可視化をより柔軟かつ効率的に実現した．具体的には，保守用車の在線位置といった動的な情報をリアルタイムで取得し，マップ上に可視化できる．この疎結合な実装は，刻々と変化する現場の状況を直観的に把握することを可能にし，異常時発生時の迅速な対応や，作業計画の最適化に大きく寄与する．



図 3　検索

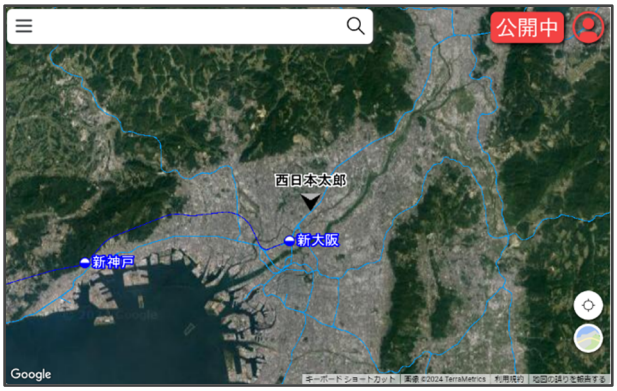


図 4　居場所公開



図 5　現場周辺環境の把握



図 6　マップ作成・共有



図 7　オープンデータの重畳

４．開発システムを用いた評価・考察

本章では，第 2 章で提示した「ユーザビリティ」という課題を，本システムがいかに解決したかを検証する．その検証手法としてユーザの行動，感情，満足度を体系的に調査する UX リサーチを採用した．

４.１　ユーザの行動特性とシステムの有効性

UX リサーチから，ユーザは業務において使い慣れた Google Maps®や紙媒体を即座に参照するといった「システム画面の外にも存在するユーザ体験」が明らかになった．これは，従来の GIS が抱える「扱いにくさ」を補うための行動である．開発したシステムは，Google Maps®に準拠した操作性に鉄道特有の機能を実装することで，このユーザ行動に合致する有用性を持つことが明らかになった．この機能は，直観的な操作で鉄道特有の位置情報を扱うことを可能にし，ユーザの行動特性からその有用性が実証されたといえる．

４.２　鉄道インフラ管理における具体的な貢献

本節では，本システムが，鉄道インフラ管理における具体的な課題をどのように解決したかについて，ユーザの活用事例から考察する．

（１）　情報共有の効率化と安全性向上

線路周辺での工事管理では，従来紙媒体で行っていた図面管理や情報共有をデジタル化することで，場所の特定や情報確認にかかる時間を大幅に短縮できることが示唆された．また，災害時の情報共有においては，リアルタイムな居場所共有機能が，電話によるコミュニケーションコストを削減し，迅速な意思決定に貢献することが明らかになった．

（２）　ナレッジの形式知化と技術継承

鉄道事業者には，地域住民への配慮や，社外の事業者との連携が必要となる場合がある．これまで個人の経験やノウハウといった「暗黙知」に依存していた．本システムにこれらをマップとして記録・共有することで「形式知」へと変換し，組織全体のナレッジ継承に貢献する．

４.３　成果と今後の展望

本システムのアクセスログデータを分析した結果，MAU（月間アクティブユーザ数）は，順調に増加傾向にある（図 8）．とくに，線路内への立ち入り場所を示す「門扉マップ」は，多くのユーザにとってキラーコンテンツとなり，システム利用率の向上に大きく貢献した．この結果は，ユーザ中心のサービスデザインが，システム利用の定着化という形で成果につながったことを示している．

さらに，本システムは既存 GIS が抱えていた応答速度の遅さという課題も解決した．システム起動から設備名で検索し，結果が表示されるまでの時間を比較したところ，本システムは従来の 10 分の 1 にまで短縮された．この定量評価は，ユーザのインタラクションコストを大幅に低減し，業務効率を向上させたことを明確に裏付けるものである．

５．結論と今後の展望

本稿では，鉄道インフラ管理における GIS の応用可能性について，モバイル版 GIS の開発と，その有効性の実証を通じて考察した．本システムは，インタラクションコストを低減したユーザビリティ，部門横断的な情報共有と迅速な意思決定，暗黙知の可視化と技術継承という複数の側面から，既存 GIS の課題を解決できることを示唆した．

なお，本システムは既存の GIS を完全に代替するものではなく，それぞれの役割を分担し，共存していくことを企図している．既存 GIS は，高度な解析や専門的なデータ管理や，時間をかけて行う事務所内での詳細な資料作成といった集中を要する作業に適した強みに対し，本システムは現場で迅速な閲覧・検索に特化することで，それぞれのツールが最適な環境で利用されることを目指す．

今後の展望に向けた課題も残されている．多部門への本格展開に向け，複雑化する要件とシステムの簡潔性とのバランスを取ることが今後の課題となる．今後はユーザのコアニーズに最適化し，システムの疎結合を維持しながら，部門間の合意形成を図っていく必要がある．

将来的には，オープンデータ活用のさらなる拡大や，Geo Json 等を活用した多様なデータ配信・表示といった機能拡張により，鉄道 GIS を単なる管理ツールから，鉄道業界ひいては，社会全体に貢献する情報基盤へと進化させることを目指す．

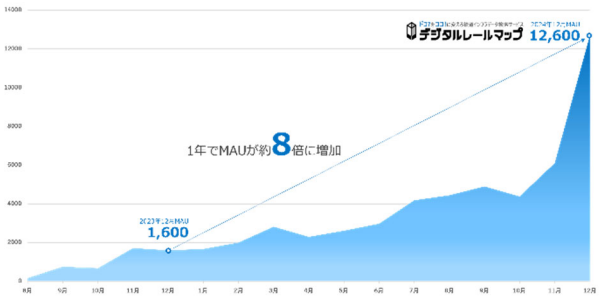


図 8　MAU の推移

参考文献

吉川 悟，岩橋 寛臣，大塚 雅紀，中山 忠雅：鉄道における情報共有基盤の構築，第 18 回地理情報システム学会講演論文集，18，pp.103-106，2009.10〈https://www.gisa-japan.org/content/files/conferences/proceedings/2009cd/papers/2B-1.pdf〉